

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Bezpilotní letoun pro měření kvality ovzduší
UAV for Air Quality Measurement

Student:	Lukáš Vachata
Vedoucí bakalářské práce:	doc. Ing. Petr Jančík Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Vachata**
Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy
Studijní obor: 3708R036 Technologie letecké dopravy
Téma: **Bezpilotní letoun pro měření kvality ovzduší**
UAV for Air Quality Measurement
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Zhodnotit dosavadní řešení (UAV Stalker).
Navrhnout další řešení bezpilotního letounu (motorový padákový kluzák, malá bezpilotní vzducholod').
Zalétat a provést základní měření.
Zpracovat letovou příručku UAV.

Seznam doporučené odborné literatury:

Technická dokumentace UAV Stalker
Lněnička, J.: O modelech letadel 1. část. Hradec Králové: Aeromodel, 2004
Lněnička, J.: O modelech letadel 2. část. Hradec Králové: Aeromodel, 2005
http://www.slavetind.cz/stavba/konstrukce/kridlo/Profil_kridla.aspx
<http://lu.fme.vutbr.cz/ucebnice/opory/aerodynamics.php> [online] [cit. 19. října 2013]

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015
Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



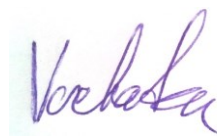
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. 4. 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'V. Chabáček', is written over a light blue rectangular background.

Podpis studenta

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Petrovi Jančíkovi Ph.D. za jeho vstřícnost a ochotu při řešení problémů spojených s tvorbou této bakalářské práce a také za příležitost pracovat na tomto projektu.

Také bych chtěl poděkovat kolegovi Jakubovi Závorkovi za pomoc při zalétávání bezpilotních prostředků.

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

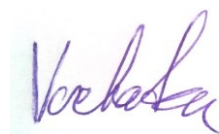
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15. 4. 2016



Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Vachata

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Brodská 95,
Příbram 261 01

Anotace bakalářské práce:

Vachata, L. *Bezpilotní letoun pro měření kvality ovzduší*. Bakalářská práce. Ostrava: Institut dopravy. Fakulta strojní. VŠB – Technická univerzita Ostrava. 2016.

Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Jančík Ph.D.

Bakalářská práce rozebírá možnosti měření kvality ovzduší pomocí bezpilotních prostředků. Nejprve shrnuje dosavadní použité možnosti, koncepty a teorie. Dále se zaměřuje na využití bezpilotního systému – motorového kluzáku, který byl osazen vybavením na měření kvality ovzduší. Po zalétání bezpilotního prostředku, provedení měření a vyhodnocení, je v práci provedeno porovnání dosavadně použitých bezpilotních systémů a navrhnuje, které systémy by bylo vhodné dále používat.

Anotation of bachelor thesis:

Vachata, L. *UAV for Air Quality Measurement*. Bachelor thesis. Ostrava: Institute of transport, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava. 2014.

Thesis head doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.

Bachelor thesis analyzes options for air quality measurement using UAVs. At first thesis summarizes options, concepts and theories that have been already used. Then thesis focuses to using unmanned systém – motor paraglider, where was installed equipment for air quality measurement. After test flights of UAV, measuring and evaluation there is comparison of systems that have been used and there is suggested which systems would be appropriate to use.

Seznam zkratek

Zkratka	Anglický tvar	Český tvar
UAV	Unmanned aerial vehicle	Bezpilotní letadlo
UAS	Unmanned aerial system	Bezpilotní letecký systém
VTOL	Vertical Take-Off and Landing	Vertikální vzlet a přistání
GPS	Global Positioning System	Globální polohovací systém
LED	Light-Emitting diode	Dioda emitující světlo
MTOM	Maximum Take-Off Mass	Maximální vzletová hmotnost
PM	Particulate Matter	Prachové částice
ČHMÚ	Czech hydrometeorological institute	Česky hydrometeorologický ústav

Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo v teoretické části provést průzkum využití bezpilotních systémů, především ve vědecké oblasti. Dále pak shrnout výčet bezpilotních prostředků, které byly vyvinuty v rámci VŠB. A nakonec porovnat různé systémy s naším padákovým kluzákem.

V praktické části zalétat padákový kluzák, provést s ním letové testy a díky získaným hodnotám vytvořit letovou příručku, která dá možnost ostatním jej snadno používat. Dalším z cílů v praktické části je samozřejmě zkusit provést za letu sérii měření, která by mohla dávat v budoucnu obraz o kvalitě ovzduší.

Obsah

Úvod.....	11
1 UAV a využití pro vědecké účely.....	12
1.1 UAV pro vědecké environmentálním účely.....	12
1.2 UAV pro vědecké účely při výzkumu ovzduší.....	14
2 UAV na VŠB – TU Ostrava.....	17
2.1 Koncepty UAV.....	17
2.2 Realizovaná UAV.....	18
3 Motorový kluzák.....	20
3.1 Technický popis.....	20
3.2 Zprovoznění a zálet.....	21
3.3 Návrhy a úpravy kluzáku.....	22
4 Bezpilotní systém Stalker.....	23
5 UAS Vzducholod' ACC06M.....	25
6 Porovnání UAV.....	26
6.1 Volba kritérií.....	26
6.2 Hodnocení kritérií jednotlivých UAV.....	26
6.3 Volba významnosti kritérií.....	27
6.4 Výpočet normované a nenormované váhy.....	27
6.5 Analytické hodnocení UAV.....	28
6.6 Vyhodnocení analýzy a porovnání UAV.....	29
7 Bezpilotní motorový kluzák pro měření kvality ovzduší.....	30
7.1 Měřené veličiny.....	30
7.1.1 PM částice.....	30
7.1.2 Oxid uhelnatý (CO).....	31
7.1.3 Teplota.....	32
7.1.4 Vlhkost.....	32
7.2 Návrh měření č. 1.....	33
7.3 Provedení a vyhodnocení měření č. 1.....	34
7.4 Návrh měření č. 2.....	36

7.5 Provedení a vyhodnocení měření č. 2	37
Závěr.	40
Použitá literatura	41
Použité obrázky	45
Použité tabulky	46
Použité grafy	47
Seznam příloh.....	48

Úvod

Tato bakalářská práce vznikla v návaznosti na předešlou práci, která se zabývala výzkumem vertikálních charakteristik přízemní vrstvy atmosféry. Nyní místo vlastnoručního zkonstruování letounu, byl Institutem Environmentálních technologií zakoupen ovladačem řízený motorový kluzák, jenž by mohl být další alternativou ve výzkumu kvality ovzduší. Motorový kluzák by měl být vybaven systémem v na míru vyrobeném pouzdru, který bude za letu snímat data z ovzduší, což měl za úkol kolega Jakub Závorka.

V posledních třech letech zažíváme masivní rozvoj technologií na bázi bezpilotních prostředků. Problematika těchto bezpilotních systémů má hned dva základní protipóly. S rozvojem technologií bezpilotních zařízení jako jsou letouny, drony apod. jsou takřka neomezené možnosti využití – především armádní a výzkumné. Tam rozvoj UAV již začal, nyní byl “předán do rukou” k hobby využití. Druhý protipól je nejen legislativa (která je již vytvořena v L2 dodatku X), ale také “zhuštění” provozu nízkého vzdušného prostoru. Dále pak nezkušenost a neznalost pilotů, kteří si UAV opravdu zakoupí pouze pro zábavné využití, co ale neznají, jsou právě zákony a doporučení od ŘLP.

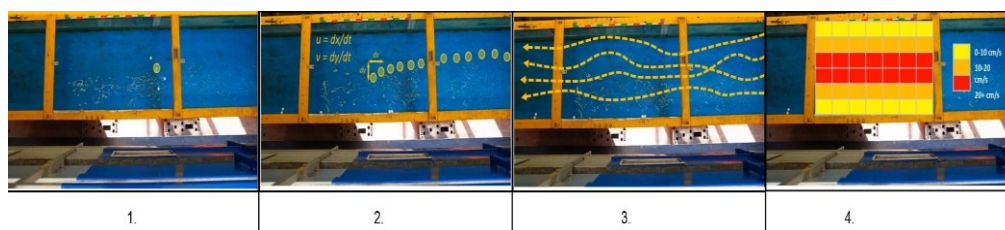
1 UAV a využití pro vědecké účely

Jak už jsem zmínil v úvodu, UAV zaznamenala vznik a největší vývoj v armádním využití. Ten stále pokračuje. Průzkum bitevního pole a nyní i nalezení a záchrana vojáků v tísni. Rozvoj UAV byl později podpořen civilním využitím. Bezpilotní systémy našly potenciál v různých odvětvích, počínaje zemědělstvím (monitoring plodin, postřik pesticidy), geologií (průzkum těžko dostupných oblastí, monitoring eroze) a konče energetikou (monitoring funkčnosti fotovoltaických panelů, či ropné plošiny). Pro kvalitu lidských životů je ovšem nejpodstatnější sledovat environmentální aspekty. V ohrožení totiž nemusí být jen vojáci, nebo fotovoltaický článek, ale i příroda. [1, 2, 3, 4, 5]

1.1 UAV pro vědecké environmentální účely

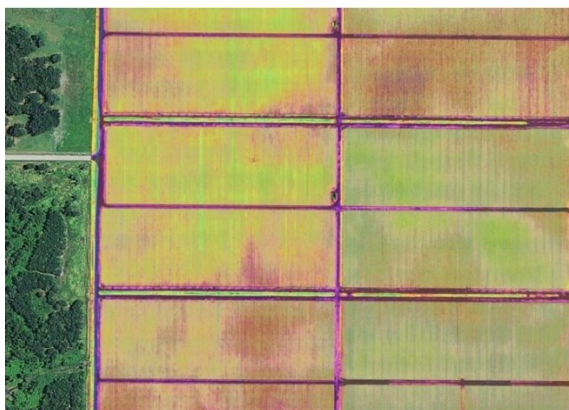
Jedním z objektů sledování jsou vodní toky. Drony nabízejí „oči v oblacích“, což může být pro vědce velice užitečné. Vodní plochy bývají často obklopeny obtížným terénem, a proto je pozorování změn náročný proces. Sledování řek a jezer pomocí dronů je důležité v dobách sucha v Kalifornii a Texasu. Tým měřící průtok řeky využívá infračervené LED diody, které nechá protéct řekou. Jejich signál zaznamenává speciální čidlo na dronu, které vše zpracovává. Následně se pak ze signálu dá sestavit mapa průtoku řeky. Díky tomu lze snadno předpovídat stav vodní hladiny při povodních. Na Obrázku č.1 je vidět teoretické využití:

1. zaznamenání čidla plovoucího ve vodě pomocí Infračervených systémů,
2. výpočet dráhy čidla,
3. aplikace výpočtu na více čidel (více pokusů),
4. vytvoření 2D modelu průtoku. [6]



Obrázek č. 1 – Simulace snímání čidla v řece. Zdroj: [6]

Jiné využití našli pro drony v Tampě, USA. Tamní farmáři také za pomoci infračervených systémů umístěných na dronu pozorují své jahodové pole. Dron ve výšce 350 ft zvládne za 11 minut a 16 vteřin zkontrolovat přes 9 hektarů půdy. Pořídí tak 219 snímků, které obsluha zkontroluje. To značně urychlí práci, jelikož farmáři nemusí pěšky procházet pole. Environmentální aspekt tohoto využití je, že není nutné používat pesticidy na celé pole, ale pouze lokálně na postižených místech. Navíc dron nepoužívá spalovací motor, ale elektromotor, což také prospívá životnímu prostředí. Na Obrázku č. 2 můžeme vidět konkrétní sledování pole. Zelená barva ukazuje nejzdravější část úrody. [7]



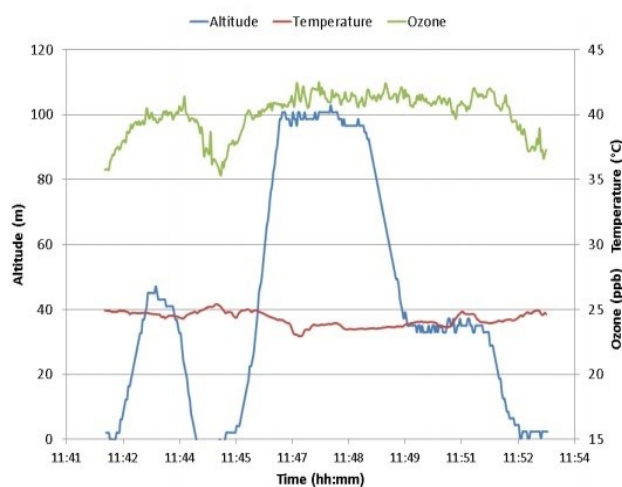
Obrázek č. 2 – Monitoring jahodového pole pomocí dronu. Zdroj: [7]

Podobné využití našly drony v přírodní rezervaci El Torcal ve Španělsku. Správci tam využívají drony k tomu, aby našli místa, kde se nejvíce pohybují kozorožci. Tam pak správci cíleně mohou využít fondy EU. Pokud tento projekt bude úspěšný, bude použit stejný princip i v okolí Malagy, kde se budou sledovat ohrožené druhy zvířat. [8]

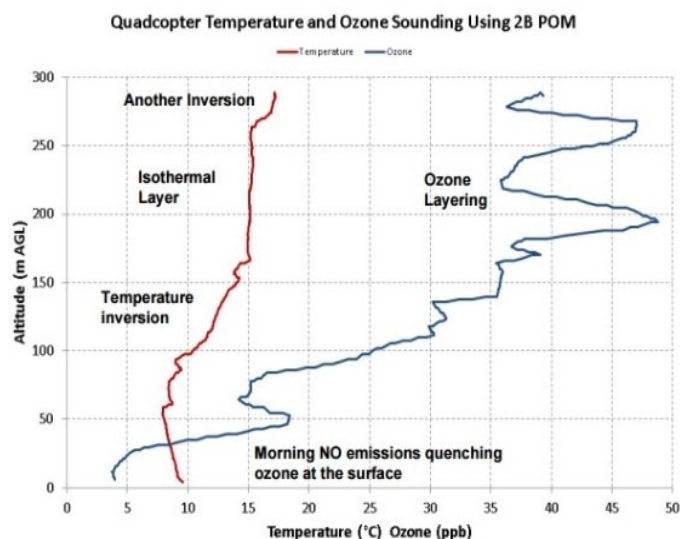
1.2 UAV pro vědecké účely při výzkumu ovzduší

Co je, ale nejpodstatnější je monitoring ovzduší – tak, jak se o to snažíme v Laboratoři letových měření ovzduší.

Stejně tak společnost T&B Systems v Californii, USA, využívají drony na měření meteorologických podmínek a znečištění ovzduší. Využívají drony nesoucí lehké senzory a kameru. Díky tomu jsou schopni zjišťovat teplotu a vrstvu ozonu (Viz Graf 1 a 2). Drony mohou tedy nahradit meteorologické balony, jelikož mají schopnost naprogramovaného letu, což zajišťuje měření vždy ve stejné oblasti. [9]



Graf č. 2 – Výsledek měření ozónu a teploty v závislosti na výšce. Zdroj: [9]



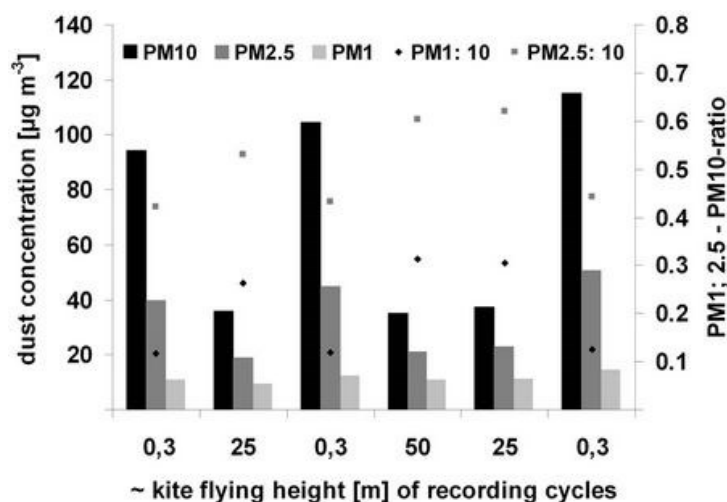
Graf č. 1 – Výsledek měření teploty a ozónu. Zdroj: [9]

Vzhledem k tomu, že Čína má statisticky nejhorší znečištění ovzduší na světě, rozhodla se s tím razantně bojovat. Vyvinuli 11 dronů, které používali v noci, aby detekovali ilegální producenty emisí. Během dvaceti hodin byli schopni pokrýt přes dva tisíce čtverečních kilometrů. Úřady díky datům z dronů byly schopny usvědčit 64 továren. Čína ovšem nebojuje jen tímto způsobem. Stejně tak jako my, použili v boji proti znečištění paraglidový kluzák. Parafoil dron je vyvinut tak, aby unesl zátěž až 700 kg. V tomto případě jeho užitečná zátěž činí speciální chemikálie, která po vypuštění do vzduchu zmrazí poléťavé částice a nechá je spadnout na zem. Parafoil může pracovat v 5 km rádiusu. [10, 11]



Obrázek č. 3 – Čínský parafoil za letu. Zdroj: [12]

Stejně tak v Německu sestrojili padákový kluzák, který měl za úkol měřit znečištění vzduchu. Výsledky této práce jsou následující: [13]



Graf č. 3 – Výsledek měření PM částic. Zdroj: [13]

Studie prokázala velké možnosti využívání tzv. low-costových a zároveň low-altitudových leteckých systémů. Autor upozorňuje na možné zkreslení výsledků dat způsobené samotným letem. Konstrukce parafoilu je složena z tzv. draku a nosné měřicí platformy. Drak má obsah 4m². Platforma je vyrobena z hliníku a zajišťuje ochranu měřicího zařízení. Celková váha systému představuje 5,7 kg. [13]

2 UAV na VŠB – TU Ostrava

Díky těmto výzkumům bylo dokázáno, že jako UAS může být použito opravdu cokoli, co se v letectví provozuje. Ať už je to právě kluzák, samotné letadlo, vzducholod', nebo dron (připomínající helikoptéry). Stejně tak i na VŠB probíhají výzkumy, které se snaží zahrnout k bezpilotním prostředkům vše.

2.1 Koncepty UAV

Martin Bičan – Diplomová práce na téma Konstrukce UAV typu křídlo s elektropohonem:

Úkolem této práce byla analýza a souhrn dosavadních řešení UAV s VTOL. Dále pak shrnutí koncepčních řešení a výběr nejvhodnějších variant pro tuto práci. Nakonec autor zhotovil návrh UAV typu křídlo, který je schopen VTOL. Provedení je takové, že na koncích křídel jsou dva otočné pylony nesoucí pohonné jednotky. Koncept byl pouze částečně realizován. [14]

Jakub Homola – Diplomová práce na téma Elektropohon UAV napájený fotovoltaickým zdrojem:

V této práci je na začátku analýza elektropohonů, které se v současnosti i minulosti využívaly pro pohon UAV. Poté autor představil návrh a výpočet možností napájení elektropohonu UAV pomocí fotovoltaických panelů. Dále provedl teoretickou aplikaci pro model UAV na VŠB (od studentů Bronislava Klimánka a Davida Schwarze). Závěr je, že aplikace je možná, ale pouze jako doplňkový zdroj – vzhledem k nedostatečné výkonnosti fotovoltaických panelů, je reálné prodloužení doby letu o cca 7%. [15]

Jaroslav Palička – Bakalářská práce na téma Bezpilotní monitorovací robot pro identifikaci znečištění ovzduší:

Cílem jeho práce bylo najít nejvhodnější řešení pro bezpilotní prostředek nesoucí zařízení na detekci znečišťovatele ovzduší, jež bude schopna pomocí senzorů najít zdroj znečištění, pachatele vyfotografovat a oznámit pomocí GPS polohu. Jako nejvhodnější řešení dle svého průzkumu si vybral ze tří možností (letoun, helikoptéra, multikoptéra) multikoptéru, ke které pak navrhnul a vypočítal možnost řešení a výroby. [16]



Obrázek č. 4 - Koncept kvadrokoptéry. Zdroj: [16]

2.2 Realizovaná UAV

Bronislav Klimánek a David Schwarz – Diplomové práce na téma Využití bezpilotních prostředků pro telemetrické účely:

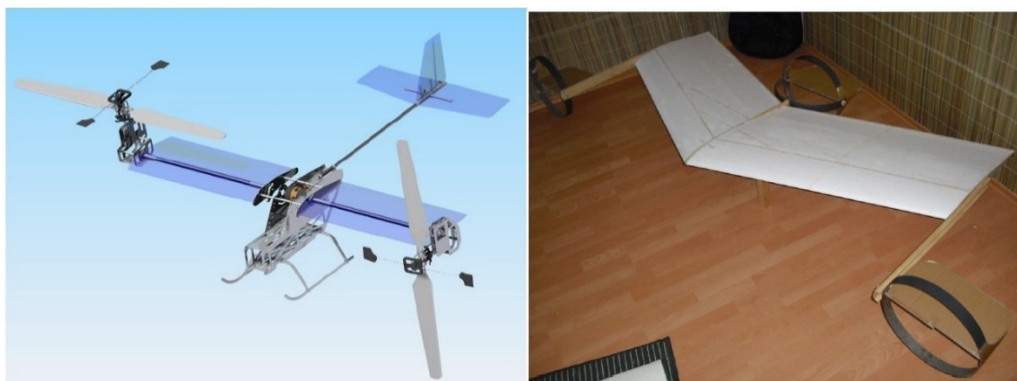
Průkopníci bezpilotních prostředků na ULD na VŠB. Jako první realizovali koncepcí UAV využívající klasický koncept (tzn. model letounu) s motýlkovými ocasními plochami. Model je snadno řiditelný a stabilní. Provedení ovšem bylo do jisté míry nákladné - cca 13 000 Kč. Letoun je schopný nést i další vybavení a proto by se (jak autoři polemizovali) mohl využít k nesení například meteorologické sondy. [17]



Obrázek č. 5 - Model letounu za letu. Zdroj: [17]

Vojtěch Skotnica – Bakalářská práce na téma Návrh konstrukce UAV s elektropohonem:

Záměrem této práce byl návrh UAV, které bude poháněno elektromotorem a schopno VTOL a visení. Dle požadavků autor navrhl letoun podobné konstrukce jako je letoun Bell-Boeing V-22 Osprey. Tzn. letoun s dvěma pohonnými jednotkami mající nastavitelný úhel těchto pohonných jednotek. Takže konceptuálně velmi podobné křídlu s elektropohonem, které jsem zmínil výše. Výhoda je ale v tom, že tento koncept má klasický trup (není to samokřídlo), který je schopen nést užitečnou zátěž a také přistávací ližiny, mající co nejvíce ochránit letoun. [18]



Obrázek č. 6 - Koncept a realizovaná část modelu. Zdroj: [18]

Erik Solař – Bakalářská práce na téma Návrh a realizace UAV se záporným křídlem:

Dalším UAV, které bylo realizováno nejen jako koncept je Poštolka – letoun se zápornou šípovitostí křídla. Provedení bylo formou samokřídla se záporným šípem, které bylo poháněno elektromotorem. I přes možnost nestabilit za letu (flutter) bylo dobrou konstrukcí dosaženo dobrých letových vlastností. Dokonce by bylo možné uvažovat o autonomním řízení. V rámci své diplomové práce pak Ing Solař doplnil možnost využití startovacího zařízení (rampy) a záchranného zařízení v podobě padáku. To se dá využít jako záchranné zařízení, ale také jako brzdící zařízení. [19]

Tým Lešenarová, Bojko, Stuchlík a Zavadský – UAV pro hodnocení kvality ovzduší pomocí letounu Stalker:

Tento tým pracující pod Institutem environmentálních technologií sestrojil letoun zvaný Stalker. Letoun je plně funkční. Na rozdíl od svých předchůdců používá spalovací motor o výkonu 2,1 kW při 14 000 ot/min. Prázdná hmotnost je 5,25 kg a MTOM je 8 kg, což dává velké možnosti na užitečnou zátěž. V tomto případě sloužil na měření kvality ovzduší. Tým provedl sérii měření, jejichž objektem sledování byly následující veličiny: Poléťavý prach PM10, Oxid uhelnatý, Teplota vzduchu a Vlhkost vzduchu. [20]

3 Motorový kluzák

Na VŠB, konkrétně na Institutu environmentálních technologií jsou v této době využívány tři bezpilotní systémy. Vzducholoď, Letoun Stalker a nyní i padákové křídlo s elektrickou pohonnou jednotkou, tudíž motorový kluzák.

3.1 Technický popis

Motorový kluzák je zhotoven z trojkolky o rozměrech cca 370x475x470 mm poháněné motorem o výkonu 621 W při 790 rpmV. Tento motor pohání tlačnou vrtuli o rozměrech 15x6. Paraglider je schopen nést užitečnou zátěž cca 1 kg. Padák je zhotoven z materiálu SkyTex. Jeho rozpětí je 3,162 m, obsahuje 21 komor a jeho nosná plocha činní 2 m². Šňůry jsou použity: A, B, C a řidičky, které jsou uvázány na serva Hitec HS-805 BB. Ta mají tah 24,7 kg/cm. Jako zdroj energie pro motor jsou tříčlánkové baterie Li-Po s napětím 11,1 V. V současnosti jsou využívány s kapacitou 4000 a 5100 mAh, přičemž druhá zmíněná je nejvhodnější, co se týče poměru výdrž-hmotnost. [21, 31]



- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1 – Vrchlík | 4 – Přední podvozkové kolo |
| 2 – Ochranný rám vrtule | 5 – Zadní podvozková kola |
| 3 – Servo pro ovládání vrchlíku | |

Obrázek č. 7 - Popis kluzáku. Zdroj: Autor práce

Pro řízení je kluzák vybaven sadou přijímače a vysílače Hitec Optic 6 Sport. Tato sada je i vybavena funkcí FAIL-SAFE, což znamená, že při ztrátě signálu vysílače s přijímačem (například kvůli rušení, poruše vysílače,...), provede kluzák předem definované postupy a měl by se tak dostat co nejbezpečněji na zem. [22]

U vysílače byl zvolen vlastní mód, který nejvíce vyhovuje a částečně simuluje řízení skutečného kluzáku:

- Levý knipl: ovládání otáček motoru,
- Pravý knipl: ovládání serv pro zatáčení, stoupání a klesání.



Obrázek č. 8 - Ovládání vysílače v nastaveném módu. Zdroj: Autor práce

3.2 Zprovoznění a zálet

Při zalétávání bylo provedeno 9 letů. První dva lety byly pouze pro nácvik vzletů a přistání. Dále následovaly nácviky letů – mírné a ostré zatáčky, trénink vhodného přiblížení a samozřejmě přistání. Tři lety byly věnovány mimo nácviku létání, také testování letových vlastností – s nadměrně překročenou nosností padáku, za silného větru, nebo také se zaklapnutím padáku. Ostatní lety byly věnovány měření kvality ovzduší se snímači a elektronikou k tomu určenou.

Provoz kluzáku je velmi nenáročný a levný. Skládá se pouze z nabíjení baterie a předletové kontroly, kde se zjistí jakékoliv závady.



Obrázek č. 9 - Motorový kluzák za letu. Zdroj: Autor práce

3.3 Návrhy a úpravy kluzáku

Na kluzáku bylo provedeno pár úprav. Bylo několikrát vyměněno přední kolo, které bylo poškozeno při každém tvrdším přistání, nebo pádu. Osa předního kola byla původně kryta železným krytem. Pro svou horší manipulovatelnost při údržbě byl nahrazen silikonovým krytem.



Obrázek č. 10 - Výměna předního kola a opatření jej silikonovým krytem na osu.

Zdroj: Autor práce

Vzhledem k tomu, že přední kolo absorbuje většinu nárazů, jako vhodná úprava by bylo opatřit jej tlumičem. Výborným doplňkem by bylo servo, které by řídilo přední kolo. Prozatím je nemožné ovládat směr poježdění kluzáku na zemi, dokud se plně nenafoukne vrchlík. Další vhodný doplněk by byl vrchlík s větší nosnou plochou. Stávající 2 m² poskytují sice dostatečný vztlak pro let, ale hmotnost trojkolky je přeci jen na hraně nosnosti vrchlíku. Kluzák tedy letí a to především zásluhou silného elektromotoru s vhodnou vrtulí. Let je ovšem zbytečně rychlý a pro účely měření spíše nevyhovující.

Výhody:

- Mobilita – malé rozměry, nízká hmotnost,
- velmi snadná ovladatelnost a malé nároky na pilotáž,
- snadná konstrukce na údržbu a provoz.

Nevýhody:

- Malá nosnost užitečné zátěže,
- krátká doba letu daná baterií,
- nutnost zpevněné vzletové dráhy,
- malá plocha vrchlíku (= vyšší rychlosti).

4 Bezpilotní systém Stalker

„UAS Stalker vznikl jako studentský projekt. Je navržen tak, aby mohl měřit parametry přízemní vrstvy atmosféry v malých výškách.“ [23]

Hornoplošný letoun s jednoválcovým vznětovým motorem, který je umístěn pro tlačné uspořádání. Letadlo bylo zhotoveno v dubnu roku 2014. Letadlo je schopno 35 minut letu s dostupem cca 970 m. Jako užitečné zatížení je schopen nést až 2,75 kg, což poskytuje velké možnosti pro umístění více snímačů.

Mimo jiné byl také letoun vybaven GPS lokátorem a autopilotem. To poskytovalo rozličné funkce především pro obsluhu – stačilo zadat na mapě kam má letoun letět. [23]

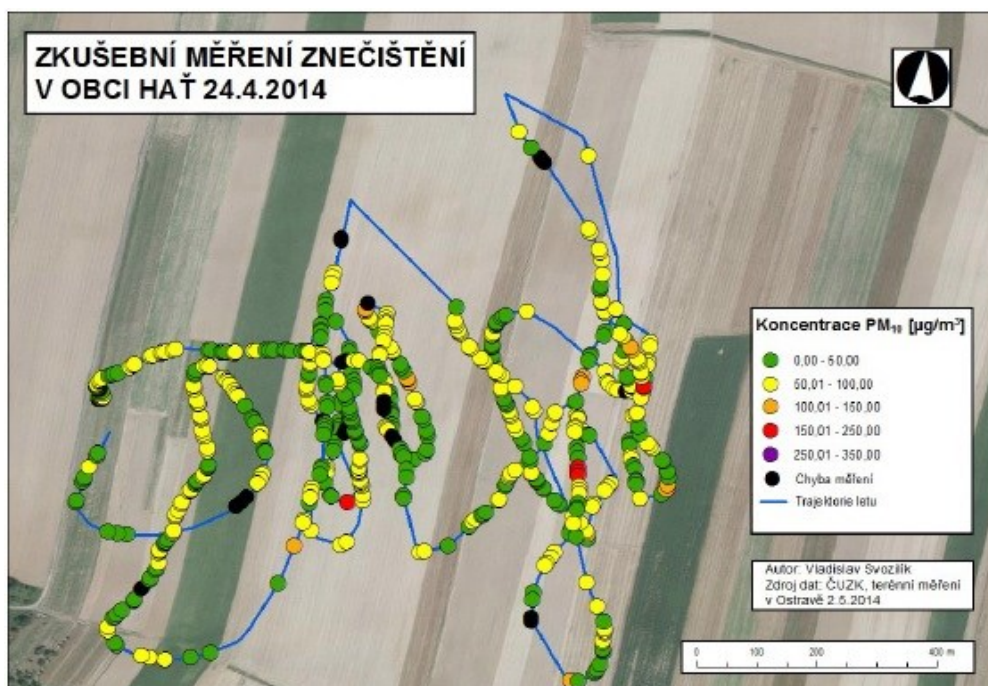


Legenda

- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| 1 – křídélko | 7 – kamera |
| 2 – svislá ocasní plocha | 8 – snímače/pitot-statická trubice |
| 3 – vodorovná ocasní plocha | 9 – přední noha podvozku |
| 4 – antény | 10 – poziční světlo |
| 5 – pohonná jednotka s vrtulí | 11 – servomotor s táhlem |
| 6 – hlavní podvozek | |

Obrázek č. 11 - Letoun Stalker. Obrázek a popis. Zdroj: [23]

S tímto letounem byla provedena série zkušebních letů důležitých pro testování letových vlastností a zajištění bezpečnosti. Dále byly provedeny dvě série měření. Jedno měření složené ze dvou letů na modelářském letišti v Karviné. Druhé měření bylo na modelářském letišti na Hati. V obou případech byly měřeny následující veličiny: vlhkost, teplota, koncentrace oxidu uhelnatého a koncentrace PM10. [23]



Obrázek č. 12 - Zkušební měření letounu Stalker. Autor: Ing. Vladislav Svozilík

Nevýhody UAS Stalker:

- nutnost letu v relativně vysoké rychlosti,
- nutnost rovné vzletové a přistávací plochy,
- výfukové plyny mohou ovlivnit snímané veličiny,
- nutnost montáže a demontáže při převozu.

Výhody UAS Stalker:

- vysoká nosnost užitečné zátěže,
- délka letových měření není limitována počtem baterií,
- velký dostup.

5 UAS Vzducholod' ACC06M

Dalším bezpilotním systémem zaměřeným na měření kvality ovzduší, který využívá IET, je bezpilotní vzducholod' ACC06M. Jedná se o malou vzducholod' bez pevné vnitřní konstrukce. Nosným plynem je helium. Vzducholod' je schopna provozní rychlosti 10-30 km/h. Pohonnou jednotkou je elektromotor o výkonu 2x350W (při 12V), který pohání dvě dvoulísté vrtule. Doba letu se v závislosti na síle větru pohybuje kolem 20-45 min. Maximální uváděný dostup je 500 m. Vzducholod' je schopna nést užitečný náklad vážící kolem 1 kg. Hmotnost celé konstrukce je 7,5 kg. V zadní části je vzducholod' vybavena dvěma výškovými a jedním směrovým kormidlem, které má integrované servo-motory pro rychlejší a účinnější změny směru letu. Vzducholod' je momentálně v testovací fázi a probíhají s ní cvičné lety. Po zalétání by měla fungovat jako primární, potažmo sekundární bezpilotní systém pro měření kvality ovzduší na IET. [24]

Výhody:

- kolmý start a přistání (včetně visení),
- dlouhá výdrž,
- malá rychlost letu,
- nehrozí nebezpečí zranění osob při případném pádu.

Nevýhody:

- nemobilita – velké nároky na uskladnění (rozměry),
- náročnost údržby a provozu,
- obtížná pilotáž,
- možnost létání pouze za minimální rychlosti větru (< 5 m/s),



Obrázek č. 13 - Vzducholod' ACC06M. Zdroj: Autor práce

6 Porovnání UAV

Pomocí vícekritériální analýzy budou porovnány tři výše zmíněné bezpilotní prostředky. Tím se zjistí, který je nejvhodnější pro měření kvality ovzduší.

6.1 Volba kritérií

Označení	Kritérium	Charakteristika kritéria
K ₁	Vísení	Schopnost zastavení ve vzduchu
K ₂	Výdrž	Letová doba
K ₃	Ovladatelnost	Nároky na schopnosti pilota
K ₄	Mobilita	Nároky na přepravu (rozměry, hmotnost)
K ₅	Nosnost užitečného zatížení	Schopnost nést výbavu na měření kvality ovzduší
K ₆	Nízká rychlost	Schopnost letět pomalu
K ₇	Odolnost vůči počasí	Odolnost vůči větru, dešti,...
K ₈	Náročnost na údržbu	Obtížnost provedení základní údržby
K ₉	Náklady na provoz	Náklady na pohonné hmoty, materiál, pořízovací cena,...

Tabulka č. 1 - Volba hodnocených kritérií

6.2 Hodnocení kritérií jednotlivých UAV

Hodnocení 1-5, kde 5=optimální a 1=nevyhovující.

Kritérium	Stalker	Vzducholod'	Motorový kluzák
Vísení	1	5	1
Výdrž	3,5	5	1
Ovladatelnost	1,5	2	5
Mobilita	2	2	5
Nosnost užitečného zatížení	4	4	2
Nízká rychlost	1,5	5	2
Odolnost vůči počasí	1,5	2	2,5
Náročnost na údržbu	2	1,5	4
Náklady na provoz	3	1,5	5

Tabulka č. 2 - Ohodnocení jednotlivých prostředků

6.3 Volba významnosti kritérií

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	Počet voleb	Pořadí	
K1		x	K2	K3	K4	K5	K1	K7	K8	K9	1	9
K2			x	K3	K2	K2	K2	K2	K2	K2	7	1
K3				x	K3	K3	K6	K3	K3	K3	7	2
K4					x	K5	K6	K7	K4	K4	3	5
K5						x	K5	K7	K5	K5	5	4
K6							x	K7	K8	K9	2	8
K7								x	K7	K7	6	3
K8									x	K8	3	6
K9										x	2	7

Tabulka č. 3 - Volba významnosti kritérií

6.4 Výpočet normované a nenormované váhy

Nenormovaná váha K_i

$$K_i = n + 1 - P_i$$

K1	1
K2	9
K3	8
K4	5
K5	6
K6	2
K7	7
K8	4
K9	3

Tabulka č. 4 - Výpočet nenormované váhy

Normovaná váha V_i

$$V_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i}$$

V1	0,022
V2	0,200
V3	0,178
V4	0,111
V5	0,133
V6	0,044
V7	0,156
V8	0,089
V9	0,067

Tabulka č. 5 - Výpočet normované váhy

6.5 Analytické hodnocení UAV

UAV Stalker			
Kritérium	Hodnota kritéria	Normov aná váha	Vážený index kritéria
Visení	1	0,022	0,02
Výdrž	3,5	0,200	0,70
Ovladatelnost	1,5	0,178	0,27
Mobilita	2	0,111	0,22
Nosnost užitečného zatížení	4	0,133	0,53
Nízká rychlost	1,5	0,044	0,07
Odolnost vůči počasí	1,5	0,156	0,23
Náročnost na údržbu	2	0,089	0,18
Náklady na provoz	3	0,067	0,20
Suma vážených indexů kritérií			2,42

Tabulka č. 6 - Analytické ohodnocení bezpilotního systému Stalker

UAV Vzducholod' ACC06M			
Kritérium	Hodnota kritéria	Normovaná váha	Vážený index kritéria
Visení	5	0,022	0,11
Výdrž	5	0,200	1,00
Ovladatelnost	2	0,178	0,36
Mobilita	2	0,111	0,22
Nosnost užitečného zatížení	4	0,133	0,53
Nízká rychlost	5	0,044	0,22
Odolnost vůči počasí	2	0,156	0,31
Náročnost na údržbu	1,5	0,089	0,13
Náklady na provoz	1,5	0,067	0,10
Suma vážených indexů kritérií			2,99

Tabulka č. 7 - Analytické hodnocení bezpilotního systému ACC06M

UAV Motorový kluzák			
Kritérium	Hodnota kritéria	Normovaná váha	Vážený index kritéria
Vísení	1	0,022	0,02
Výdrž	1	0,200	0,20
Ovladatelnost	5	0,178	0,89
Mobilita	5	0,111	0,56
Nosnost užitečného zatížení	2	0,133	0,27
Nízká rychlost	2	0,044	0,09
Odolnost vůči počasí	2,5	0,156	0,39
Náročnost na údržbu	4	0,089	0,36
Náklady na provoz	5	0,067	0,33
Suma vážených indexů kritérií			3,10

Tabulka č. 8 - Analytické ohodnocení bezpilotního systému Motorový kluzák

6.6 Vyhodnocení analýzy a porovnání UAV

Za pomoci analytického porovnávání s váhami kritérií se dospělo k zjištění, že nejvhodnějším prostředkem pro létání a tedy i využití na měření kvality ovzduší, je motorový kluzák. Zejména pro jeho naprostou jednoduchost, která se odráží v ovladatelnosti, náročnosti při údržbě a samotném provozu, je vhodný právě pro tyto účely. Co by se dalo paraglideru vytknout je velmi nízká doba letu, tudíž měření je nutné přerušovat kvůli výměně baterie a nízká užitečná hmotnost.

Právě ale vzhledem k rozdílným letovým a provozním vlastnostem je vhodné v rozdílných případech použít jiný bezpilotní systém. Vždy při návrhu měření je potřeba přihlédnout na mnoho proměnných, jako je například: meteorologické podmínky, potřebná doba měření, infrastruktura a přístup k objektu či lokalitě měření a možnosti lokality pro vytvoření pozemní základny pro řízení UAS (vzletová přistávací dráha,...). Samozřejmě je nutné také přihlédnout na bezpečnost a pravidla dané doplňkem X předpisu L2 Úřadu pro civilní letectví.

7 Bezpilotní motorový kluzák pro měření kvality ovzduší

V této kapitole jsou shrnuty motorovým kluzákem veličiny měřené. Dále pak zde jsou vyobrazeny návrhy měření a k tomu také postupy a výsledky z jednotlivých letových měření.

7.1 Měřené veličiny

Ovzduší je jedna ze základních složek prostředí, ve kterém člověk žije. Ochrana ovzduší by měla patřit mezi primární cíle člověka v boji za ochranu svého prostředí.

Znečišťující látky se dělí dle vyhlášky MŽP č. 356/2002 Sb. V Příloze 1 následovně:

- **základní znečišťující látky (tuhé ZL, kyslíkaté sloučeniny síry, oxid uhelnatý,...),**
 - azbest a těžké kovy,
 - perzistentní organické látky,
 - organické sloučeniny klasifikované jako karcinogeny, mutageny nebo jedy pro reprodukční proces,
 - organické sloučeniny halogenované,
 - těkavé organické látky,
 - organické látky,
 - anorganické látky,
 - pachové látky. [25, 26]

Samozřejmě každá z těchto látek mají své předepsané emisní limity. Nás nejvíce zajímají Tuhé znečišťující látky – polétavé částice, které se dělí dle své velikosti (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁) a dále oxid uhelnatý (CO). [27]

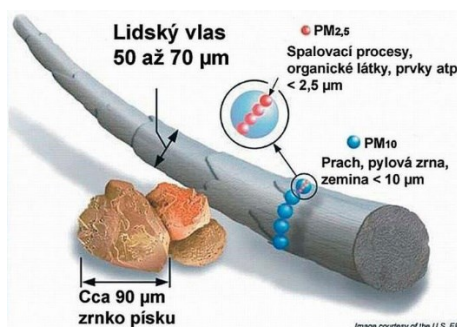
7.1.1 PM částice

Polétavé částice, nebo polétavý prach jsou částice pevného skupenství rozptýlené ve vzduchu. Označují se PM_x, přičemž za x dosazujeme čísla dle jejich velikosti v mikrometrech. Například PM₁₀ jsou částice menší než 10 μm. Zdroje těchto látek rozlišujeme dva:

- přírodní,
- antropogenní.

Za přírodní zdroje považujeme výbuchy sopek, větrné bouře, nebo lesní požáry. Naopak do antropogenní činnosti zahrnujeme: spalovací procesy, těžba, výfukové plyny automobilů bez katalyzátoru, atd.

Tyto částice mohou způsobovat různé zdravotné problémy. Počínaje drážděním dolních dýchacích cest až po chronickou obstrukční plicní nemoc. [27]



Obrázek č. 14 - Porovnání velikosti PM10, PM2,5. Zdroj: [27]

7.1.2 Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn, který vzniká při nedokonalém spalování uhlíku a organických látek. Zvláště při nízkých teplotách, krátké době hoření nebo nedostatku kyslíku. Emitorem tohoto plynu jsou především automobily, lokální topeniště, nebo metalurgický průmysl.

Vliv CO na lidský organismus je stejně jako u polétavých částic značně nepříznivý. V menších koncentracích může způsobovat únavu, bolesti hlavy, ztrátu koordinace. V extrémních koncentracích tento plyn způsobuje smrt. [28]

Limity pro tyto znečišťující látky stanovené Evropskou komisí jsou převzaty Vládou ČR a podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. jsou tyto limity následující: [26]

Částice	Limitní koncentrace	Časové období	Povolené přesáhnutí
PM10	50 $\mu\text{g.m}^{-3}$	24 hodin	35x za rok
	40 $\mu\text{g.m}^{-3}$	1 rok	-
CO	10 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$	8 hod. klouzavý průměr	-

Tabulka č. 9 - Limity koncentrací. Zdroj: [26]

7.1.3 Teplota

Stavová veličina, jež je součástí jednotek SI. Na našem území se většinou udává ve stupních Celsia. Teplota ve stupních Celsia vychází ze základní termodynamické stupnice. Vztah těchto stupnice je dán výpočtem:

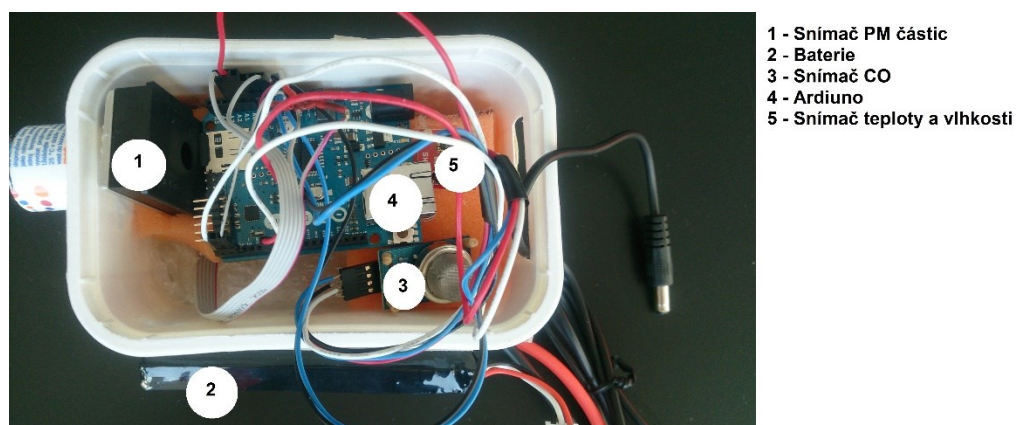
$$T = T_0 + t = 273,15 + t$$

Pro měření teploty se používá mnoho druhů teploměrů. Mezi nejznámější patří skleněné teploměry, tlakové, bimetalické, atd. V bezpilotním systému je využit odporový teploměr, který je založen na teplotní závislosti elektrického odporu. [29]

7.1.4 Vlhkost

Je to fyzikální veličina udávající poměr mezi aktuálním množstvím vodní páry ve vzduchu a množstvím páry, které by měl vzduch při nasycení. Vlhkost je udávána v procentech a můžeme ji rozdělit na dva druhy: absolutní a relativní vlhkost.

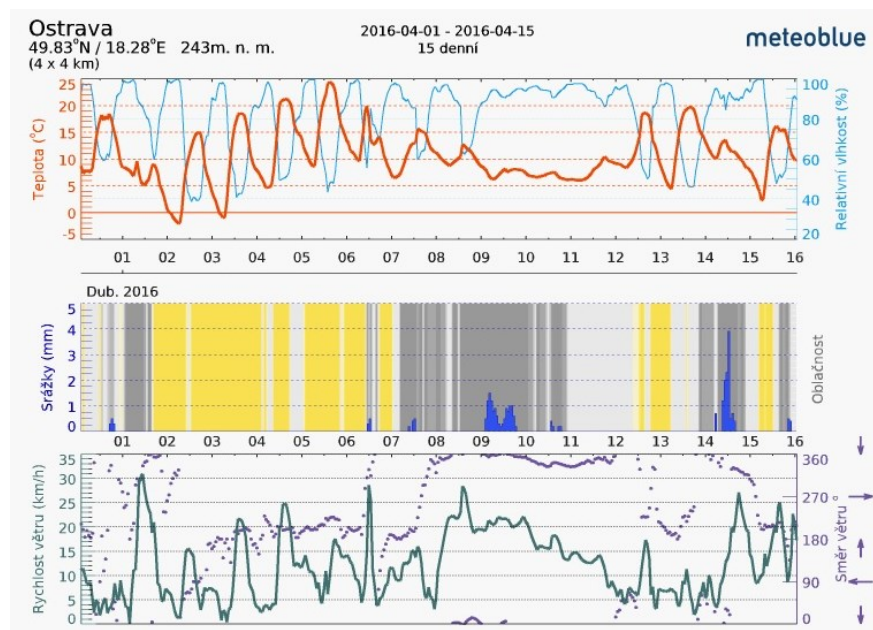
V praxi se využívá především relativní vlhkost. Ta vyjadřuje poměr mezi napětím vodní páry a napětím nasycené vodní páry při stejných teplotách. [30]



Obrázek č. 15 -Systém pro měření kvality ovzduší, umístěný v provizorním pouzdře.
Zdroj: Autor práce

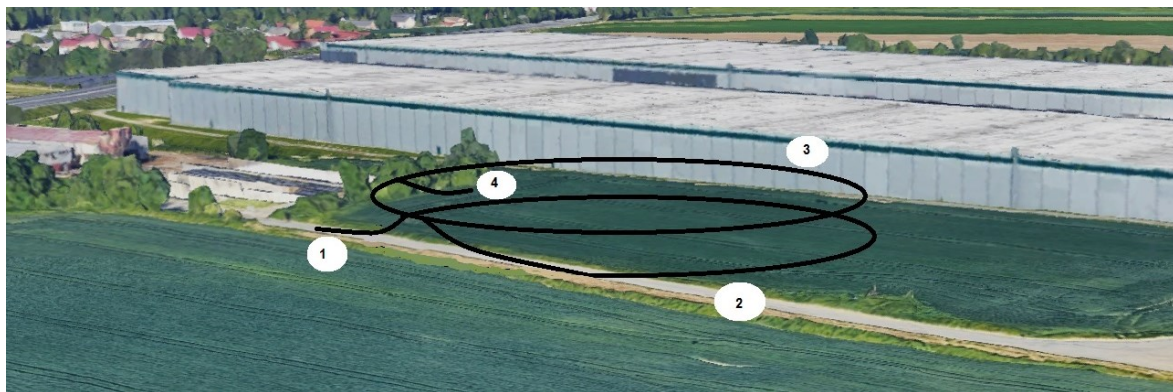
7.2 Návrh měření č. 1

Měření by mělo probíhat za bezpečných letových podmínek, tak aby byla zaručena neprostá říditelnost kluzáku, tudíž i maximální bezpečnost.



Obrázek č. 16 - Předpověď počasí na den létání (15.4. 2016). Zdroj: [32]

První měření by vzhledem k síle větru mohlo být na hranici letových schopností kluzáku. Let byl naplánován na 8:30, kdy by síla větru měla být cca 5 m/s. Vhodné místo pro vzlet a přistání bylo na příjezdové cestě k zemědělskému družstvu za Prologis parkem Ostrava. Vzhledem k pevnému a rovnému povrchu pro vzlet a přistání a okolním polím je toto místo pro létání ideální a bezpečné.



Obrázek č. 17 - Plán letového měření. Zdroj: Google Maps

Postup letu:

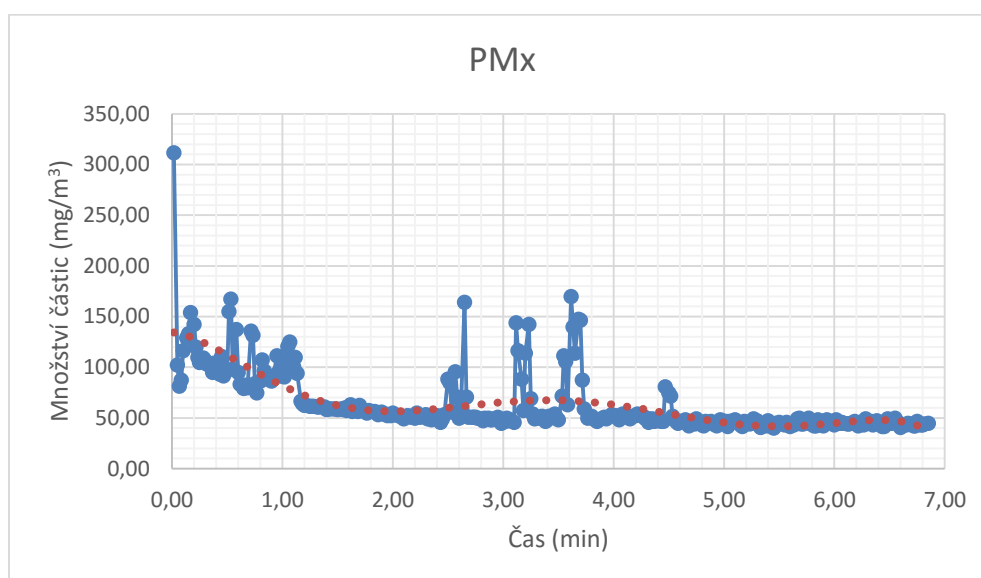
1. Rozjezd a vzlet
2. První dva okruhy proti větru (15-20 m)
3. Druhé dva okruhy ve výšce 40-50 m
4. Závěrečné přiblížení a přistání do louky

7.3 Provedení a vyhodnocení měření č. 1

Měření se uskutečnilo 15.4. 2016 v 8:30 u ostravského Prologis parku. Po předletových přípravách a kontrolách bylo umístěno měřicí zařízení v provizorním pouzdru (z důvodu zatím nezhotoveného pouzdra).

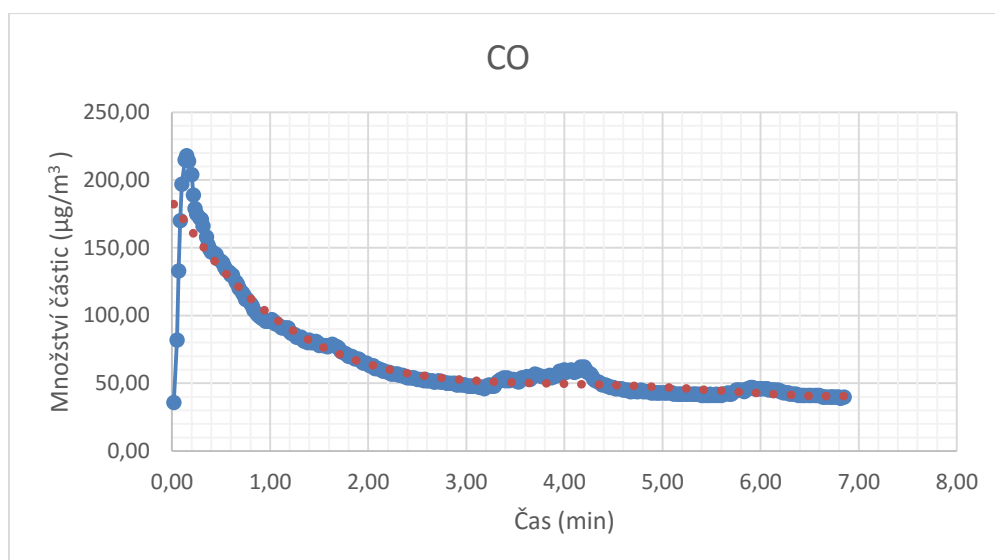
Rozjezd a vzlet byl dlouhý cca 3 m a včetně nastoupání tento proces trval 1 minutu 30 sekund. Poté byly provedeny tři okruhy ve výšce 15 m. Vzhledem k silným bočním nárazům větru a hrozícímu nebezpečí pádu, bylo při třetím okruhu provedeno přiblížení a přistání do pole.

Poté byl proveden ještě jeden cvičný let (na stejnou baterii), při němž bylo vyhodnoceno, že se letové podmínky zhoršují a měření bylo ukončeno. I přes to byla měřicími přístroji získána následující data:



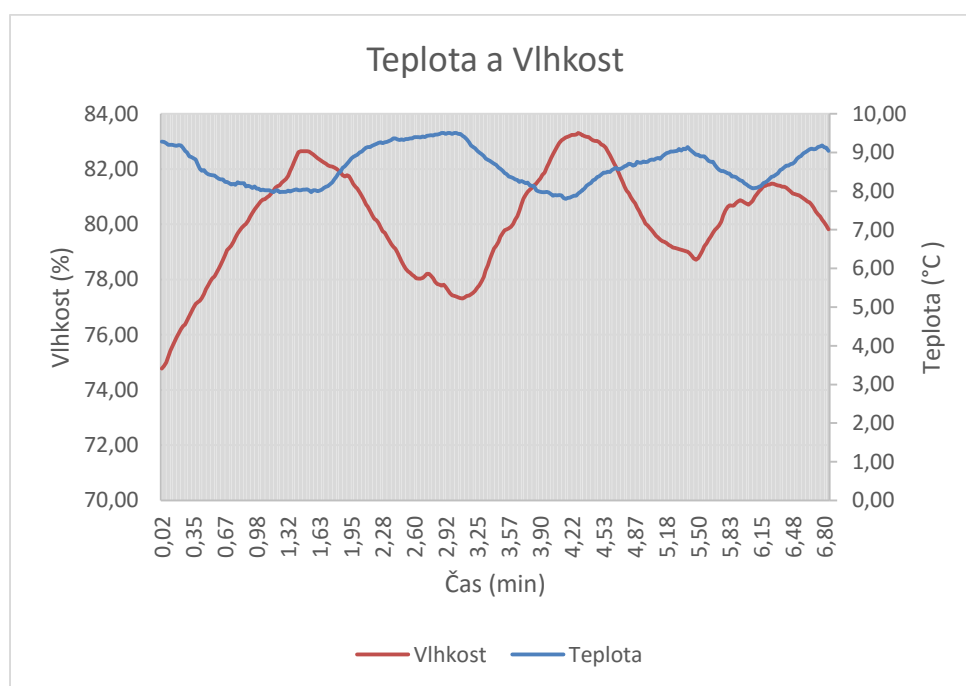
Graf č. 4 - Vyhodnocení měření polétavých částic. Zdroj: Autor práce

Hodnoty, které jsou výrazně odchýleny od spojnice trendu, jsou nejspíše chybové. Chyby mohly vzniknout kvůli neustálenému letu (boční poryvy větru), nebo možná i kvůli elektromagnetickému rušení od elektromotoru.



Graf č. 5 - Vyhodnocení měření CO. Zdroj: Autor práce

Hodnoty grafu CO se nijak výrazně neodchylují od spojnice trendu. Ovšem klesající tendence je podezřelá a mohlo opět dojít ke zkreslení. Nejspíše vlivem nevhodně umístěného snímače v přístrojovém pouzdru.

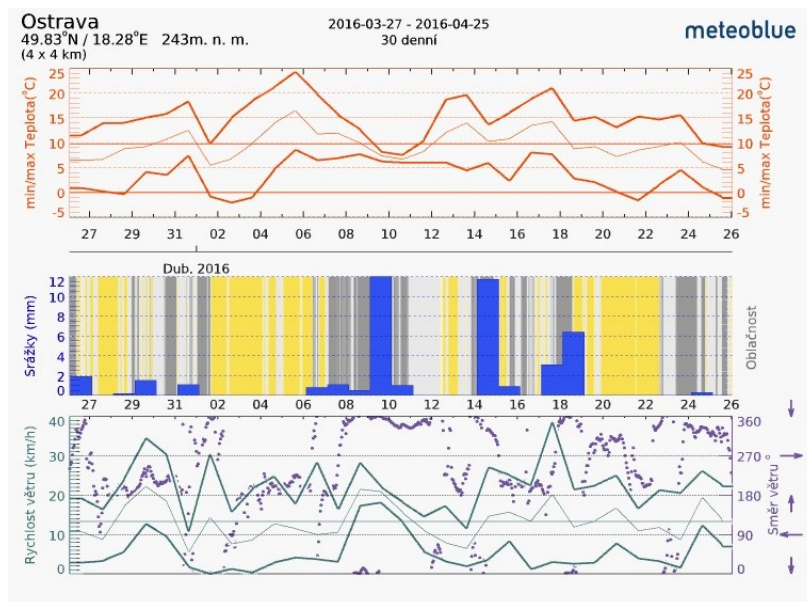


Graf č. 6 - Vyhodnocení měření Teploty a Vlhkosti. Zdroj: Autor práce

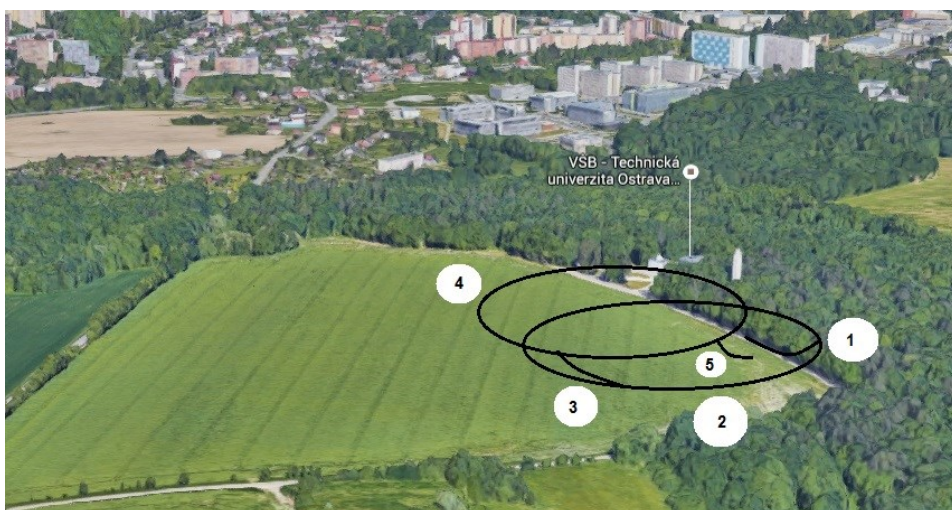
Hodnoty teploty i vlhkosti jsou v normálu a odpovídají teplotám naměřeným na nedaleké stanici ČHMÚ – Poruba.

7.4 Návrh měření č. 2

Druhé měření bylo naplánováno na 26.4.2016, na 8:30 dopoledne. Jako místo měření bylo zvoleno nad polem u Planetária VŠB. Vzhledem k počasí byl čas opět hraniční. Ranní teploty a vysoká vlhkost by nebyly ideální a předpověď na sílu větru byla na 9 hodin a později nepříznivá.



Obrázek č. 18 - Předpověď na den létání 26.4.2016. Zdroj [33]



Obrázek č. 19 - Návrh a plán letu. Zdroj: Google Maps

Postup letu:

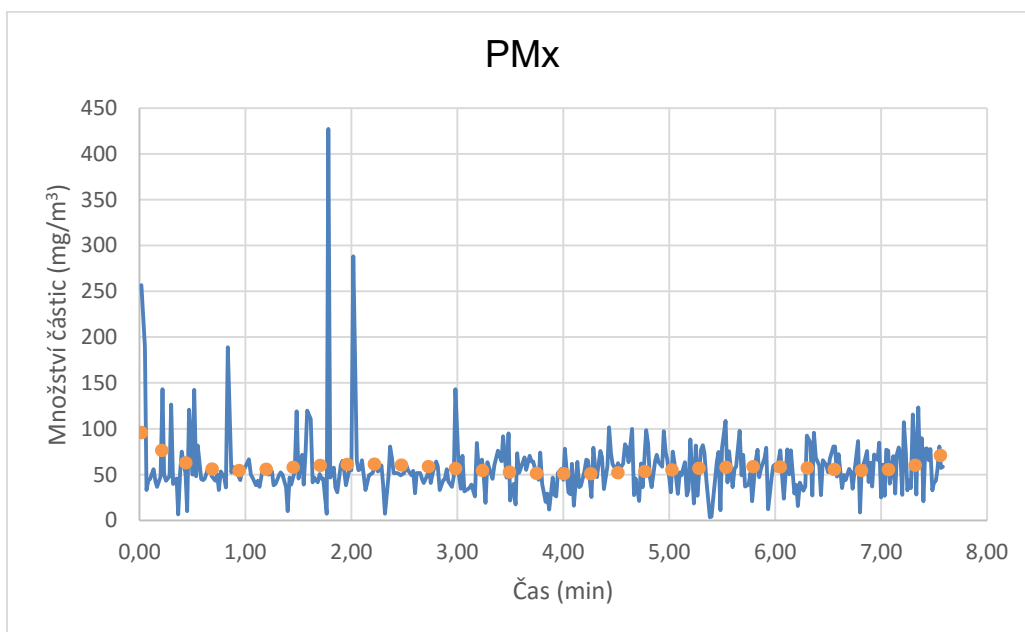
1. Vzlet a nastoupaní do první měřicí letové hladiny (15 m)
2. První dva okruhy
3. Nastoupaní do druhé měřicí letové hladiny (25 m)
4. Druhé dva okruhy
5. Přiblížení a přistání

7.5 Provedení a vyhodnocení měření č. 2

Dne 26.4 2016 bylo provedeno druhé měření u příjezdové cesty k Planetáriu VŠB v Ostravě-Poruba. Čas zahájení letu byl 8.45. Délka letu – měření byla 7,5 minuty.

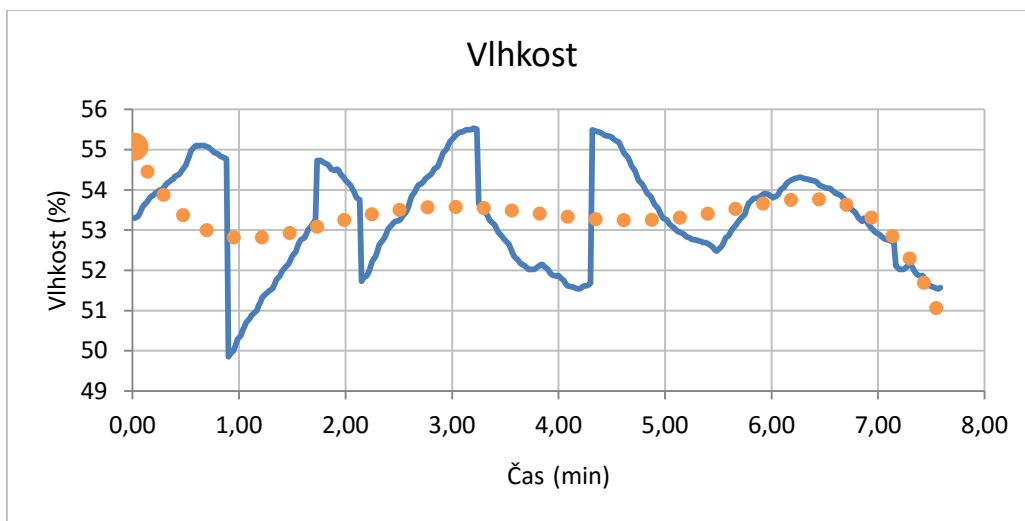
Rozjezd byl proveden na asfaltové cestě a i přes to, že cesta byla kryta korunami stromů bylo možné po odpoutání hned zatáčet s kluzákem směrem nad louku. Po ustálení letu nad loukou bylo provedeno nastoupání do výšky cca 20 m. Byly provedeny dva okruhy, přičemž při druhém okruhu byl kluzák veden k nastoupání do výšky asi 25 m. V této výšce byly provedeny rovněž dva okruhy. V čase 6 minut a 30 sekund letu bylo zahájeno přiblížení na přistání proti větru a následné přistání do trávy.

Druhý let byl plánovaný po uložení naměřených dat a kontrole stavu měřicí techniky na 9:10 dopoledne. Vzhledem k zvětšující se síle větru (podle CHMI Ostrava Poruba byl nárůst o 3 m/s) bylo dohodnuto, že kontrolní měření nebude provedeno, ale provede se pouze cvičný let druhého pilota. Naměřená data jsou vyhodnocena v následujících grafech:



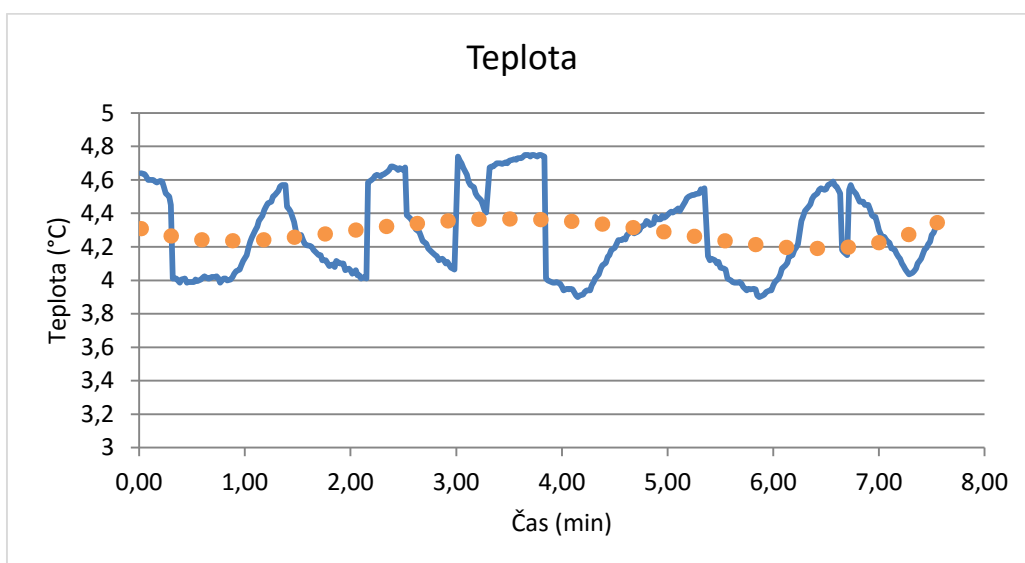
Graf č. 7 – Vyhodnocení měření polétavých částic. Zdroj: Autor práce

Hodnoty tohoto měření jsou kolem spojnice trendu ustálené, což značí, že až na pár výjimek (extrémů), jsou data nejspíše správně naměřená. Extrémy, které se vymykají trendu, jsou především na začátku měření, kdy byl kluzák ještě na zemi, nebo při vzletu, kde let nebyl úplně ustálený.



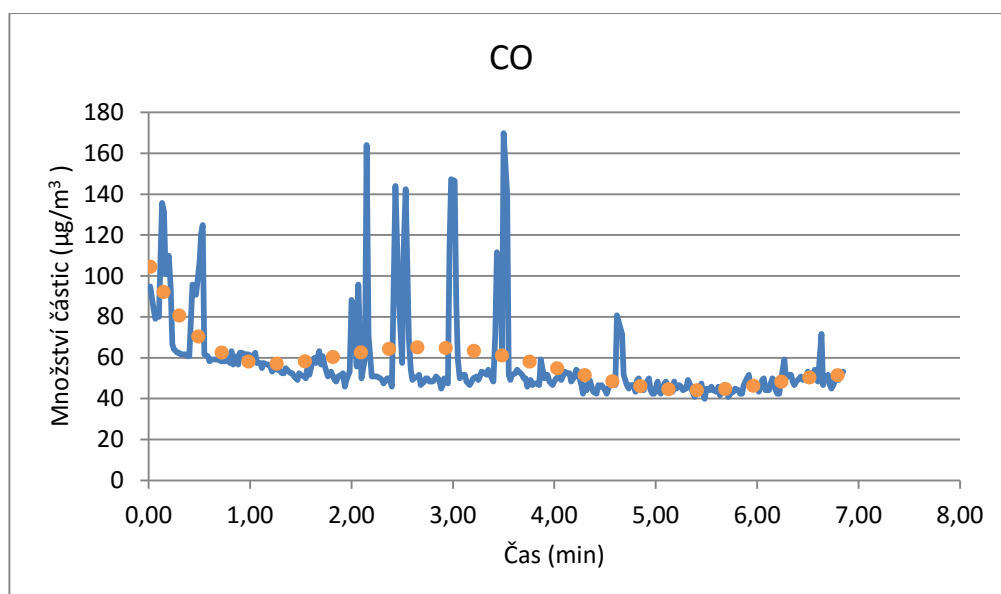
Graf č. 8 - Vyhodnocení měření vlhkosti. Zdroj: Autor práce

Vlhkost se podobá hodnotám, které byly v té době naměřeny na nedaleké stanici ČHMÚ, tj. 62%. I přes to je viditelná mírná odchylka. Důvod může být jiné umístění měřícího čidla, než bylo při prvním měření.



Graf č. 9 - Vyhodnocení měření teploty. Zdroj: Autor práce

Hodnoty teploty mohou být zkreslené stejně jako hodnoty vlhkosti. I přes to jsou také velmi blízké hodnotám ze stanice ČHMÚ, tj. 4,8°C.



Graf č. 10 - Vyhodnocení měření CO. Zdroj: Autor práce

Data naměřená za letu mají sestupný trend a je možné usoudit, že stejně jako u měření PM částic jsou zhruba první dvě minuty zkresleny rozjezdem a vzletem kluzáku. V úseku 2. minuty až času 3:30 jsou opět vidět extrémy, které neodpovídají spojnici trendu. Příčina těchto extrémů nám není známá vzhledem k tomu, že ostatní senzory v tuto dobu měřily v mezích normy.

Závěr

Cílem této práce bylo porovnat tři bezpilotní letové prostředky, které byly, nebo jsou využívány na Institutu Environmentálních Technologií pro měření kvality ovzduší. Jedná se o: letoun Stalker, malou vzducholod' ACC06M a motorový kluzák. Dále pak bylo zapotřebí zmíněný kluzák zalétat a případně s ním provést měření kvality ovzduší s využitím systémů, které uvedl do provozu kolega Jakub Závorka.

I přes to, že porovnání naprosto rozdílných prostředků není jednoduché, byla využita matematická více kritériální analýza a dále pak osobní zkušenosti s danými prostředky, případně konzultace s autory.

Vícekritériální analýzou bylo dosaženo výsledku, kde nejvhodnější prostředek je motorový kluzák. Díky naprosto jednoduché ovladatelnosti a nenáročnosti na provoz a údržbu, případně i pro svou mobilitu (převoz z laboratoře na místo měření) byl vybrán jako vhodný na využití pro měření kvality ovzduší. S kluzákem bylo také nalétáno cca 6 hodin, při kterých byly kromě výcviku provedeny testy letových vlastností (důležité k napsání letové příručky, jež je přílohou této práce) a dvě měření kvality ovzduší.

Druhým vhodným bezpilotním prostředkem je malá vzducholod' ACC06M. Tato vzducholod' kraluje především v ohledech nízké rychlosti, možnostech visení a také množství/váze užitečného zatížení.

Naopak nejméně vhodné v porovnání těchto tří prostředků se jeví bezpilotní letoun Stalker. Převoz a mobilita je velmi nedokonalá. Ač přes své velmi vyvinuté systémy (navigace, osvětlení, atd.) nedisponuje jednoduchou ovladatelností nebo možností pomalejšího letu. Tyto fakta nevykompenzuje ani vysoká nosnost užitečné zátěže.

Dle mého názoru, by jako nejvhodnější prostředek pro měření kvality ovzduší by se měla stát vzducholod' ACC06M. Kolmý start a přistání, vysoká nosnost užitečné zátěže a velká výdrž předčí motorový kluzák. Nejideálnější by bylo využití kluzáku pro zaučování a přezkušování pilotů, před přechodem na řízení vzducholodí. I po pádu je kluzák snadno a levně opravitelný a právě naučení se základních meteorologických zásad (díky kterým vlastně kluzák létá), obsluhu, údržbu atd. je pro začínající piloty nezbytné. Nejpodstatnější je ovšem samotná pilotáž, kde je nutné se naučit odhad, orientaci a také určování meteorologických podmínek za letu, což je možné díky pilotování kluzáku snadno získat. Pilot pak může postoupit na řízení o něco obtížnějšího zařízení, jako je právě vzducholod' ACC06M.

Použitá literatura

- [1] MOORKAMP, M., et al. Pioneering with UAVs at the battlefield: The influence of organizational design on self-organization and the emergence of safety. *Safety Sci* [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.029>
- [2] D'OLEIRE-OLTMANN, S. MARZOLFF, I. PETER, KD. RIES, JB. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. *Remote Sensing*. Open Access Journals [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/4/11/3390>
- [3] Trade International Media. Řízení a údržba průmyslového podniku. *Využití termovizního systému spolu s dronem přináší řadu ekonomických i technických výhod* [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/vyuziti-termovizniho-systemu-s-dronem-prinasi-radu-ekonomickych-i-technickych-vyho/>
- [4] Eseos. Droncentrum. *První inspekce plovoucí ropné plošiny pomocí dronu*. [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/prvni-inspekce-plovouci-ropne-plosiny-pomoci-dronu/>
- [5] Dopravní fakulta Jana Pernera. SCHWARZ D. *Využití bezpilotních prostředků pro telemetrické účely*. Perner's Contacts. [online]. 2010, roč. 5, č. 3. Dostupné z: http://pernerscontacts.upce.cz/19_2010/Schwarz.pdf
- [6] Eseos. Droncentrum. *Měření toku řek dronem*. [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/mereni-toku-rek-dronem/>
- [7] Tampa Media Group, LLC. The Tampa Tribune. *Drones gives Plant City strawberry farms an edge*. [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.tbo.com/news/business/drone-gives-plant-city-strawberry-farms-an-edge-20151225/>
- [8] Dario SUR Digital, S.L. SUR in english.com. *Drones at service of Mother Nature* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.surinenglish.com/20150713/news/costasol-malaga/drones-service-mother-nature-201507131349.html>

- [9] BAXTER, R. BUSH, D. T&B Systems, Inc. *Use of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality and Meteorological Measurements*. [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/2014conference/wedngambaxter.pdf>
- [10] World Air Quality. Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map. [online]. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <http://aqicn.org/map/world/>
- [11] Time, Inc. Time. *China Is Using Drones to Fight Pollution*. [online]. [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: <http://time.com/2950261/china-drones-pollution/>
- [12] Fotovoltaicosulweb.it. Fotovoltaico sulweb.it. *Droni per combattere l'inquinamento atmosferico*. [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaicosulweb.it/guida/dalla-cina-arrivano-i-droni-antismog.html>
- [13] REICHE, M. FUNK, R. ZHANG, Z. HOFFMANN, C. LI, Y. SOMMER, M. *Using a Parafoil Kite for Measurement of Variations in Particulate Matter—A Kite-Based Dust Profiling Approach*. Atmospheric and Climate Sciences, Vol. 2 No. 1. [online]. [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: http://file.scirp.org/Html/6-4700057_17126.htm
- [14] BIČAN, M. *Konstrukce UAV typu křídlo s elektropohonem*. Ostrava, 2012. 99 s. Diplomová práce na VŠB - TU Ostrava na Fakultě strojní. Vedoucí diplomové práce Ing. František Martinec, CSc.
- [15] HOMOLA, J. *Elektropohon UAV napájený fotovoltaickým zdrojem*. Ostrava, 2011. 79 s. Diplomová práce na VŠB - TU Ostrava na Fakultě strojní. Vedoucí diplomové práce Ing. František Martinec, CSc.
- [16] PALIČKA, J. *Bezpilotní monitorovací robot pro identifikaci znečištění ovzduší*. Ostrava, 2015. 65s. Bakalářská práce na VŠB - TU Ostrava na Fakultě strojní. Vedoucí bakalářské práce Ing. Matěj Gala.
- [17] KLIMÁNEK, B. *Využití bezpilotních létajících prostředků pro telemetrické účely – návrh letadla*. Ostrava, 2010. 76 s. Diplomová práce na VŠB - TU Ostrava na Fakultě strojní. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubor Sobek, Ph.D.
- [18] SKOTNICA, V. *Návrh konstrukce UAV s elektropohonem*. Ostrava, 2011. 69 s. Bakalářská práce na VŠB - TU Ostrava na Fakultě strojní. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Martinec, CSc.

- [19] SOLAŘ, E. Návrh a realizace UAV se záporným šípem. Ostrava, 2013. 67 s. Bakalářská práce na VŠB - TU Ostrava na Fakultě strojní. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Martinec, CSc.
- [20] LEŠENAROVÁ, K. Konstrukce draku bezpilotního prostředku pro měření parametrů přízemní vrstvy atmosféry. Ostrava, 2014. 64 s. Bakalářská práce na VŠB - TU Ostrava na Fakultě strojní. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lubor Sobek, Ph.D.
- [21] Michal Šotek, Společnost Sky paragliders. Frýdlant nad Ostravicí, 2016.
- [22] Technická dokumentace ovladače Hitec Optic 6 Sport
- [23] ZAVADSKÝ, T. Měření parametrů přízemní vrstvy atmosféry pro hodnocení kvality ovzduší s využitím leteckých bezpilotních prostředků. Ostrava, 2014. 49 s. Bakalářská práce na VŠB - TU Ostrava na Fakultě strojní. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Jančík Ph.D.
- [24] Airship club.com. Vzducholodě. *6M elektro*. [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.airshipclub.com/6m.php>
- [25] HEMERKA, J. a VYBÍRAL, P. *Základy ochrany ovzduší*. Vyd. 1. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03922-9.
- [26] Zákon 201/2012 Sb. Zákon o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů*. 13.6. 2012. ISSN 1211-1244. [online]. [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/201-2012_ZakonOOchraneOvzdusi.pdf
- [27] Čisté nebe o.p.s. Čisté nebe. *Polétavý prach PM10, PM2,5, PM1,0*. [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/13-poletavy-prach-pm10-pm25-pm10>
- [28] Čisté nebe o.p.s. Čisté nebe. *Oxid uhelnatý CO*. [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/12-oxid-uhelnaty-co>
- [29] Topinfo s.r.o. Tzbinfo. *Teplota a její měření*. [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3115-teplota-a-jeji-mereni>

[30] DVOŘÁK, P. *Letecká meteorologie*. Cheb: Svět křídel, 2010. ISBN 978-80-86808-85-7.

[31] PLOS, R. *Paragliding: moderní učebnice létání s padákovými kluzáky*. 4. vyd. Cheb: Svět křídel, 2008. ISBN 978-80-86808-47-5.

[32] Meteoblue. Meteoblue. *Počasí Ostrava*. [online]. [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/p%C5%99edpov%C4%9B%C4%8F/t%C3%BDden/ostrava_%C4%8Cesk%C3%A1-republika_3068799

[33] Meteoblue. Meteoblue. *Počasí Ostrava*. [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/po%C4%8Das%C3%AD/p%C5%99edpov%C4%9B%C4%8F/t%C3%BDden/ostrava_%C4%8Cesk%C3%A1-republika_3068799

Použité obrázky

Obrázek č. 1 – Simulace snímání čidla v řece. Zdroj: [6]	12
Obrázek č. 2 – Monitoring jahodového pole pomocí dronu. Zdroj: [7]	13
Obrázek č. 3 – Čínský parafoil za letu. Zdroj: [12]	15
Obrázek č. 4 - Koncept kvadrokoptéry. Zdroj: [16].....	18
Obrázek č. 5 - Model letounu za letu. Zdroj: [17]	18
Obrázek č. 6 - Koncept a realizovaná část modelu. Zdroj: [18].....	19
Obrázek č. 7 - Popis kluzáku. Zdroj: Autor práce.....	20
Obrázek č. 8 - Ovládání vysílače v nastaveném módu. Zdroj: Autor práce.....	21
Obrázek č. 9 - Motorový kluzák za letu. Zdroj: Autor práce.....	21
Obrázek č. 10 - Výměna předního kola a opatření jej silikonovým krytem na osu. Zdroj: Autor práce	22
Obrázek č. 11 - Letoun Stalker. Obrázek a popis. Zdroj: [23]	23
Obrázek č. 12 - Zkušební měření letounu Stalker. Autor: Ing. Vladislav Svozilík	24
Obrázek č. 13 - Vzducholod' ACC06M. Zdroj: Autor práce.....	25
Obrázek č. 14 - Porovnání velikosti PM10, PM2,5. Zdroj: [27].....	31
Obrázek č. 15 -Systém pro měření kvality ovzduší, umístěný v provizorním pouzdře. Zdroj: Autor práce	32
Obrázek č. 16 - Předpověď počasí na den létání (15.4. 2016). Zdroj: [32].....	33
Obrázek č. 17 - Plán letového měření. Zdroj: Google Maps	33
Obrázek č. 18 - Předpověď na den létání 26.4 2016. Zdroj [33]	36
Obrázek č. 19 - Návrh a plán letu. Zdroj: Google Maps	36

Použité tabulky

Tabulka č. 1 - Volba hodnocených kritérií	26
Tabulka č. 2 - Ohodnocení jednotlivých prostředků	26
Tabulka č. 3 - Volba významnosti kritérií	27
Tabulka č. 4 - Výpočet nenormované váhy	27
Tabulka č. 5 - Výpočet normované váhy	27
Tabulka č. 6 - Analytické ohodnocení bezpilotního systému Stalker	28
Tabulka č. 7 - Analytické hodnocení bezpilotního systému ACC06M	28
Tabulka č. 8 - Analytické ohodnocení bezpilotního systému Motorový kluzák	29
Tabulka č. 9 - Limity koncentrací. Zdroj: [26]	31

Použité grafy

Graf č. 1 – Výsledek měření teploty a ozónu. Zdroj: [9]	14
Graf č. 2 – Výsledek měření ozónu a teploty v závislosti na výšce. Zdroj: [9]	14
Graf č. 3 – Výsledek měření PM částic. Zdroj: [13].....	15
Graf č. 4 - Vyhodnocení měření polétavých částic. Zdroj: Autor práce	34
Graf č. 5 - Vyhodnocení měření CO. Zdroj: Autor práce.....	35
Graf č. 6 - Vyhodnocení měření Teploty a Vlhkosti. Zdroj: Autor práce	35
Graf č. 7 – Vyhodnocení měření polétavých částic. Zdroj: Autor práce	37
Graf č. 8 - Vyhodnocení měření vlhkosti. Zdroj: Autor práce	38
Graf č. 9 - Vyhodnocení měření teploty. Zdroj: Autor práce.....	38
Graf č. 10 - Vyhodnocení měření CO. Zdroj: Autor práce.....	39

Seznam příloh

Příloha A – Letová příručka motorového kluzáku (vloženo v kapse)